

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 11-160030

(43)Date of publication of application : 18.06.1999

(51)Int.Cl.

G01B 11/06

G01N 21/27

(21)Application number : 09-328615

(71)Applicant : DAINIPPON SCREEN MFG CO LTD

(22)Date of filing : 28.11.1997

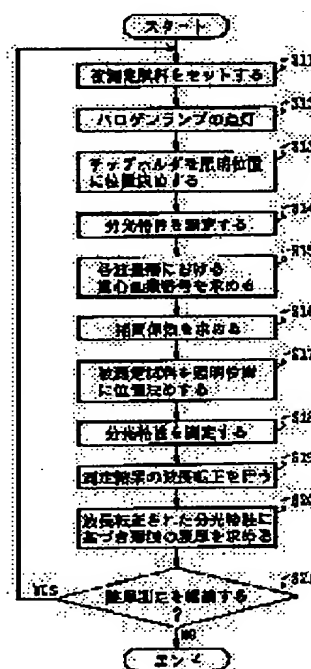
(72)Inventor : KOKUBO MASAHIKO  
TAMADA ATSUSHI

## (54) SPECTRAL MEASUREMENT METHOD AND EQUIPMENT

## (57)Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To provide a spectral measurement method and equipment which can effectively measure spectral characteristics with high reproducibility.

**SOLUTION:** As a preparation process for measuring spectral characteristics of a specimen to be measured, the specified wavelength of holmium glass is stored in a control unit. The holmium glass is positioned at an illumination position, and its spectral characteristics are measured. The number of centroid pixel of a part where change of luminance level is most remarkably generated in each wavelength band is obtained. The specified wavelength obtained in the preparation process is read from the control unit, and an interpolation coefficient is obtained. The specimen to be measured is positioned at the illumination position, and its spectral characteristics are measured. By using the interpolation coefficient, the wavelength corresponding to each pixel number is operated according to a specified wavelength calibration formula, and wavelength correction is performed.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

06.02.2002

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

http://www19.ipdl.jpo.go.jp/PA1/result/detail/main/wAAAEai8JDA411160030P1.htm 03/12/01

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平11-160030

(43)公開日 平成11年(1999)6月18日

(51)Int.Cl.<sup>4</sup>

識別記号

F I

G 0 1 B 11/06

G 0 1 B 11/06

Z

G 0 1 N 21/27

G 0 1 N 21/27

Z

審査請求 未請求 請求項の数7 O L (全 12 頁)

(21)出願番号 特願平9-328615

(22)出願日 平成9年(1997)11月28日

(71)出願人 000207551

大日本スクリーン製造株式会社

京都府京都市上京区堀川通寺之内上る4丁目天神北町1番地の1

(72)発明者 小久保 正彦

京都市上京区堀川通寺之内上る4丁目天神北町1番地の1 大日本スクリーン製造株式会社内

(72)発明者 玉田 厚

京都市南区久世築山町465番地の1 大日本スクリーン製造株式会社久世事業所内

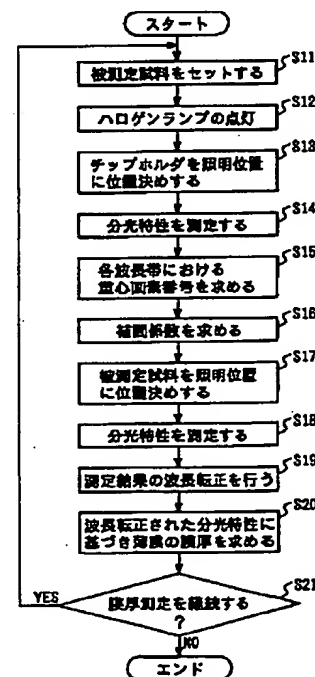
(74)代理人 弁理士 小谷 悦司 (外3名)

(54)【発明の名称】 分光測定方法および装置

(57)【要約】

【課題】 再現性の良い分光特性の測定を、効率良く行うことができる分光測定方法および装置を提供する。

【解決手段】 被測定試料の分光特性を測定する準備処理として、ホルミウムガラスの特定波長を制御ユニットに記憶する。そして、ホルミウムガラスを照明位置に位置決めし、ホルミウムガラスの分光特性を測定する。各波長帯において最も顕著に輝度レベルの変化が生じている部分の重心画素の番号をそれぞれ求めた後、制御ユニットから準備処理で求めた特定波長を読み出し、補間係数を求める。それに続いて、被測定試料を照明位置に位置決めし、分光特性を測定する。そして、上記補間係数を用い、所定の波長較正式にしたがって各画素番号に対応する波長を演算し、波長較正を行う。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 所定の波長域の照明光が照射される照明位置に被測定試料を位置決めした時に前記被測定試料から射出される光を分光し、各スペクトルを複数の画素からなるラインセンサで受光して分光特性を測定する分光測定方法であって、

(a) 前記波長域に存在し、しかも互いに異なる少なくとも2つ以上の特定波長において、透過率あるいは反射率が極大的に変化する参照光学部材を準備する工程と、

(b) 前記参照光学部材の特定波長を記憶する工程と、

(c) 被測定試料の分光特性を測定するのに先立って、前記参照光学部材を前記照明位置に位置決めすることで、前記参照光学部材の分光特性を測定し、前記複数の画素のうち前記特定波長のスペクトルを受光する画素を特定する工程と、

(d) 前記工程(c)において特定された画素に基づき、前記画素の各々で受光されるスペクトルの波長を演算する工程と、

(e) 前記工程(d)を行った後、被測定試料を前記照明位置に位置決めし、当該被測定試料から射出される光を分光し、分光特性を実測した後、当該分光特性を前記工程(d)の演算結果に基づき波長校正する工程と、を備えたことを特徴とする分光測定方法。

【請求項2】 前記参照光学部材として、ホルミウムガラスを準備する請求項1記載の分光測定方法。

【請求項3】 前記工程(b)で記憶された2つ以上の特定波長のうち、互いに隣り合う特定波長をそれぞれ第1および第2特定波長 $\lambda a$ 、 $\lambda b$ （ただし、 $\lambda a < \lambda b$ ）と定義するとともに、前記工程(c)で求められた前記第1および第2特定波長 $\lambda a$ 、 $\lambda b$ のスペクトルを受光する画素番号をそれぞれ $N a$ 、 $N b$ （ただし、 $N a < N b$ ）と定義した場合、

前記工程(d)は、第1および第2特定波長 $\lambda a$ 、 $\lambda b$ と、前記画素番号 $N a$ 、 $N b$ とに基づき、前記画素の各々で受光されるスペクトルの波長を演算する請求項1または2記載の分光測定方法。

【請求項4】 前記工程(d)は、

(d-1) 次式により補間係数 $\alpha$ を求めるサブ工程と、

$$\alpha = (N b - N a) / (\lambda b - \lambda a)$$

(d-2) 次式により画素番号 $N k$ を有する画素によって受光されるスペクトルの波長 $\lambda k'$ を求めるサブ工程と、

$$\lambda k' = \lambda a + (N k - N a) / \alpha$$

を備えた請求項3記載の分光測定方法。

【請求項5】 所定の波長域の照明光を照明位置に照射する照明光学ユニットと、

前記波長域に存在し、しかも互いに異なる少なくとも2つ以上の特定波長において、透過率あるいは反射率が極大に変化する参照光学部材と、

被測定試料および前記参照光学部材を選択的に前記照明位置に移動させる移動手段と、

前記照明位置に位置決めされた前記被測定試料または前記参照光学部材から射出される光を所定位置に集光する結像光学ユニットと、

前記結像光学ユニットからの光を分光する分光器と、複数の画素からなり、当該分光器によって分光されたスペクトルを受光するラインセンサとを有する分光ユニットと、

装置各部を制御しながら、前記ラインセンサの各画素から出力される電気信号に基づき前記被測定試料および前記参照光学部材の分光特性を求める制御ユニットとを備える分光測定装置であって、

前記制御ユニットは、前記参照光学部材の特定波長を記憶するメモリと、

被測定試料の分光特性を測定するのに先立って、前記参照光学部材を前記照明位置に位置決めすることで前記参照光学部材の分光特性を測定し、前記複数の画素のうち前記特定波長のスペクトルを受光する画素を特定する画素特定手段と、

特定された画素に基づき、前記画素の各々で受光されるスペクトルの波長を演算する演算手段と、

被測定試料を前記照明位置に位置決めし、実測される分光特性を波長校正する波長校正手段と、を有していることを特徴とする分光測定装置。

【請求項6】 前記参照光学部材として、ホルミウムガラスが用いられた請求項5記載の分光測定装置。

【請求項7】 前記移動手段は、被測定試料を保持するテーブルと、前記参照光学部材を保持しながら、前記テーブルに固定されたホルダと、前記テーブルを駆動して前記被測定試料および前記参照光学部材を一体的に移動させるテーブル駆動手段と、を備えている請求項5または6記載の分光測定装置。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、所定の波長域の照明光が照射される照明位置に被測定試料を位置決めした時に前記被測定試料から射出される光を分光し、各スペクトルを複数の画素からなるラインセンサで受光して分光特性を測定する分光測定方法および装置に関する。

## 【0002】

【従来の技術】この種の分光測定装置では、基板表面に透明薄膜が形成された半導体ウエハなどの被測定試料がステージ上に保持されており、この被測定試料に向けて所定の波長域（例えば、可視域）の照明光を照射するとともに、この試料によって反射された光を結像光学ユニットを介して分光ユニットに導光している。この分光ユニットは、結像光学ユニットからの光を分光する分光器と、複数の画素からなり、当該分光器によって分光されたスペクトルを受光するラインセンサとで構成されており、各スペクトルが対応する画素に入射し、各画素からスペクトルの強度に応じた電気信号が出力されて試料の

分光特性が測定されている。

【0003】このように構成された分光測定装置では、ラインセンサの各画素によって受光されるスペクトルの波長を予め求めておくために、分光測定装置の組立および光軸調整などを行った後で、絶対波長較正を行っている。この絶対波長較正は、予め公知の輝線スペクトルを有する低圧水銀ランプを照明位置に配置して該低圧水銀ランプからの光を結像光学ユニットを介して分光ユニットに導光して絶対波長較正を行い、ラインセンサの各画素と分光によるスペクトルの波長とを対応付けるものである。そして、かかる絶対波長較正を終えた後で、低圧水銀ランプを取外し、照明光を被測定試料に照射して分光特性を測定している。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】ところで、上記のようにして絶対波長較正を行った後であっても、経時変化や温度変化などの影響によって結像光学ユニットや分光ユニットなどの光学特性が変化し、その結果、ラインセンサの各画素と分光によるスペクトルの波長との対応付けが変化することがある。このような変化があると、再現性の良い測定を行うことができなくなる。

【0005】一方、このような問題は絶対波長較正を定期的に行うことで解消されるが、絶対波長較正を行うためには、分光測定装置のカバーを取外して照明位置に低圧水銀ランプを配置する必要がある、波長較正に多大な労力がかかってしまう。特に、このような分光測定装置は、半導体ウエハなどの表面に形成された薄膜の連続膜厚測定によく利用されており、波長較正の度に低圧水銀ランプを配置し、取除いていたのでは測定効率が低く、スループット（単位時間当たりの処理可能枚数）の低下を招いてしまう。

【0006】この発明は、上記のような問題に鑑みてなされたものであり、再現性の良い分光特性の測定を、効率良く行うことができる分光測定方法および装置を提供することを目的とする。

【0007】

【課題を解決するための手段】請求項1の発明は、所定の波長域の照明光が照射される照明位置に被測定試料を位置決めした時に前記被測定試料から射出される光を分光し、各スペクトルを複数の画素からなるラインセンサで受光して分光特性を測定する分光測定方法であって、上記目的を達成するため、(a) 前記波長域に存在し、しかも互いに異なる少なくとも2つ以上の特定波長において、透過率あるいは反射率が極大に変化する参照光学部材を準備する工程と、(b) 前記参照光学部材の特定波長を記憶する工程と、(c) 被測定試料の分光特性を測定するのに先立って、前記参照光学部材を前記照明位置に位置決めすることで、前記参照光学部材の分光特性を測定し、前記複数の画素のうち前記特定波長のスペクトルを受光する画素を特定する工程と、(d) 前記工

程(c)において特定された画素に基づき、前記画素の各々で受光されるスペクトルの波長を演算する工程と、(e) 前記工程(d)を行った後、被測定試料を前記照明位置に位置決めし、当該被測定試料から射出される光を分光し、分光特性を実測した後、当該分光特性を前記工程(d)の演算結果に基づき波長較正する工程と、を備えている。

【0008】請求項2の発明は、前記参照光学部材として、ホルミウムガラスを準備している。

10 【0009】請求項3の発明は、前記工程(b)で記憶された2つ以上の特定波長のうち、互いに隣り合う特定波長をそれぞれ第1および第2特定波長 $\lambda_a$ 、 $\lambda_b$ （ただし、 $\lambda_a < \lambda_b$ ）と定義するとともに、前記工程(c)で求められた前記第1および第2特定波長 $\lambda_a$ 、 $\lambda_b$ のスペクトルを受光する画素番号をそれぞれ $N_a$ 、 $N_b$ （ただし、 $N_a < N_b$ ）と定義した場合、前記工程(d)では、第1および第2特定波長 $\lambda_a$ 、 $\lambda_b$ と、前記画素番号 $N_a$ 、 $N_b$ とに基づき、前記画素の各々で受光されるスペクトルの波長を演算している。

20 【0010】請求項4の発明は、前記工程(d)が、(d-1) 次式により補間係数 $\alpha$ を求めるサブ工程と、
$$\alpha = (N_b - N_a) / (\lambda_b - \lambda_a)$$
(d-2) 次式により画素番号 $N_k$ を有する画素によって受光されるスペクトルの波長 $\lambda_{k'}$ を求めるサブ工程と、
$$\lambda_{k'} = \lambda_a + (N_k - N_a) / \alpha$$
を備えるように構成している。

30 【0011】請求項5の発明は、上記目的を達成するため、所定の波長域の照明光を照明位置に照射する照明光学ユニットと、前記波長域に存在し、しかも互いに異なる少なくとも2つ以上の特定波長において、透過率あるいは反射率が極大に変化する参照光学部材と、被測定試料および前記参照光学部材を選択的に前記照明位置に移動させる移動手段と、前記照明位置に位置決めされた前記被測定試料または前記参照光学部材から射出される光を所定位置に集光する結像光学ユニットと、前記結像光学ユニットからの光を分光する分光器と、複数の画素からなり、当該分光器によって分光されたスペクトルを受光するラインセンサとを有する分光ユニットと、装置各部を制御しながら、前記ラインセンサの各画素から出力される電気信号に基づき前記被測定試料および前記参照光学部材の分光特性を求める制御ユニットとを備えており、そして、前記制御ユニットが、前記参照光学部材の特定波長を記憶するメモリと、被測定試料の分光特性を測定するのに先立って、前記参照光学部材を前記照明位置に位置決めすることで前記参照光学部材の分光特性を測定し、前記複数の画素のうち前記特定波長のスペクトルを受光する画素を特定する画素特定手段と、特定された画素に基づき、前記画素の各々で受光されるスペクトルの波長を演算する演算手段と、被測定試料を前記照明位置に位置決めし、実測される分光特性を波長較正す

る波長校正手段と、を備えるようにしている。

【0012】請求項6の発明は、前記参照光学部材として、ホルミウムガラスを用いている。

【0013】請求項7の発明は、前記移動手段が、被測定試料を保持するテーブルと、前記参照光学部材を保持しながら、前記テーブルに固定されたホルダと、前記テーブルを駆動して前記被測定試料および前記参照光学部材を一体的に移動させるテーブル駆動手段と、を備えるようにしている。

【0014】

【発明の実施の形態】図1は、本発明にかかる分光測定方法を適用可能な膜厚測定装置を示す斜視図である。以下、この膜厚測定装置の概要を説明した後で、分光測定方法について詳述する。

【0015】A. 膜厚測定装置

この図に示す膜厚測定装置は、半導体ウエハの分光特性を測定し、その分光特性から半導体ウエハに形成された薄膜の膜厚を測定する装置であり、ウエハカセットを載置する載置ステージ1と、ウエハカセットに対して半導体ウエハ（以下、ウエハと略す）を出し入れするインデクサ部2と、半導体ウエハの分光特性を測定し、さらに該分光特性に基づき半導体ウエハの表面に形成された薄膜の膜厚を測定する測定部3とを備えている。この実施の形態にかかる膜厚測定装置では、上記インデクサ部2を中心として、その周囲に上記載置ステージ1及び測定部3が配置されたレイアウト構成となっている。

【0016】A-1. 載置ステージ1

上記載置ステージ1は、図示の例では二つ設けられており、各ステージ1には、複数枚のウエハを多段に収納したウエハカセット11、12が、それぞれ収納口をインデクサ部2に臨ませた状態で載置されている。なお、本実施形態の装置では、直径200mm及び300mmの2種類のウエハが測定対象となる。

【0017】A-2. インデクサ部

上記インデクサ部2には、ウエハの搬送手段であるインデクサロボット21と、該インデクサロボット21により上記ウエハカセット11、12から取り出されたウエハの中心位置修正（センタリング）を行う中心調整装置22とが設けられている。

【0018】インデクサロボット21は、上下動可能な水平多関節型のロボットからなり、そのアーム先端にはウエハを保持するための薄板状のハンド211が装着されている。ハンド211の表面には、吸引孔212が開孔しており、該吸引孔212を介して負圧が供給されることにより、ハンド211によってウエハを吸着、保持するようになっている。

【0019】中心調整装置22は、上記ハンド211に対するウエハ位置を修正するもので、接離可能な一對のチャック221を備えており、上記ウエハカセット11、12から取り出されたウエハを、上記チャック22

1により径方向に挟持することによってウエハ位置を機械的に修正するように構成されている。

【0020】A-3. 測定ステージ4

上記測定部3は、被測定ウエハの保持部分となる測定ステージ4と、この測定ステージ4の上部に配置される膜厚測定のための測定ヘッド5とを有している。

【0021】測定ステージ4には、ウエハを移動可能に保持する六軸テーブル41と、プリアライメント用センサ47と、ウエハを待機させるための補助ステージ48とが設けられている。

【0022】上記六軸テーブル41は、ウエハを吸着保持するための円盤状の保持プレート411と、これを六軸方向、すなわち、X軸、Y軸、Z軸及びこれら各軸回り（ $\theta$ Y方向、 $\theta$ X方向、 $\theta$ 方向）に変位可能に支持する支持機構412から構成されており、保持プレート411を上記各方向に移動させながら補助ステージ48との間でウエハの受渡しを行うとともに、上記測定ヘッド5及びプリアライメント用センサ47の所定の測定位置にウエハを配置するように構成されている。

【0023】また、この保持プレート411の側面部には、チップホルダ413（後で説明する図8）が取り付けられている。このチップホルダ413の上面部には、図2および図3に示すように、凹部413aが形成されており、この凹部413aの内部には、シリコンなどのリファレンスチップ71、参照光学部材としてのホルミウムガラス72および表面に反射防止膜をコーティングした保護ガラス73がこの順で底面から積層配置されている。したがって、保持プレート411を上記各方向に移動させると、該保持プレート411とともに、ホルミウムガラス72が任意の位置に移動可能となっている。このように、この実施形態では、六軸テーブル41と、チップホルダ413と、六軸テーブル41の駆動機構（図示省略）とで、ウエハおよびホルミウムガラス72を選択的に測定位置に移動させる移動手段が構成されている。

【0024】なお、ホルミウムガラス72は、例えば図4に示すような透過率特性を有しており、同図から明らかなように、特定波長で透過率が極大的に減少している。したがって、六軸テーブル41を移動させてホルミウムガラス72を照明位置1Lに位置決めすると、測定ヘッド5からの照明光が保護ガラス73を介してホルミウムガラス72を通過してリファレンスチップ71で反射された後、再度ホルミウムガラス72および保護ガラス73を通過して測定ヘッド5側に導光される。この際、反射光の各波長成分のうち特定波長成分については、ホルミウムガラス72で吸収されて輝度レベルの低下が認められる。この実施形態では、この吸収特性を利用して波長校正が行われる。この点に関しては、後で詳述する。

【0025】図1に戻って測定ステージ4の構成につい

ての説明を続ける。プリアライメント用センサ47は、光の照射部471と受光部472とを所定の検査空間を挟んで上下に配置したもので、上記検査空間にウエハ端縁部を介在させた状態でウエハを回転させることにより、プリアライメント、すなわち上記保持プレート411の中心に対するウエハ中心の偏心を検出するようになっている。

【0026】補助ステージ48は、インデクサ部2と六軸テーブル41との間に配設されており、図示の例では、測定前のウエハを待機させるための供給側ステージ481と、測定後のウエハを待機させるための排出側ステージ482とが並べて設けられている。各ステージ481、482は、上記保持プレート411を介在させるための切欠部分を有した略U字型に形成されており、例えば、供給側ステージ481から六軸テーブル41へのウエハの受渡しは、供給側ステージ481の切欠下部分の下方に上記保持プレート411が配置された状態で、供給側ステージ481と保持プレート411とが相対的に上下動されることにより行われるようになっている。一方、六軸テーブル41から排出側ステージ482へのウエハの受渡しは、これと逆の動作に基づいて行われるようになっている。

【0027】A-5. 測定ヘッド5

図5は測定ヘッド5を示す図であり、図6は図5のA-A線矢視図であり、図7は測定ヘッド5の光学および電気的構成を示す模式図である。この測定ヘッド5は、上記したように、本発明にかかる照明光学装置としての照明光学ユニット51を有している。この照明光学ユニット51では、所定の光源配置領域（図6の右下隅領域）511に、ハロゲンランプ512と重水素ランプ513とが配置されている。そして、各ランプ512、513から射出された光L1、L2が照明光学ユニット51を介して結像光学ユニット52に入射される。また、この実施形態では、このように光源配置領域511には、ハロゲンランプ512および重水素ランプ513を覆うように保護カバー515が設けられるとともに、この保護カバー515に排気ダクト516を介して図示を省略する排気ファンが接続されている。

【0028】両ランプ512、513から射出される光L1、L2が入射する照明光学系514は、複数のフィルターを同心円状に配置してなるフィルターターレット514aと、このフィルターターレット514aを回転させて任意のフィルターを光軸OA上に位置決めするフィルター切換用モータ514bと、レンズ514cと、全反射ミラー514dと、視野絞り514eと、ハーフミラー514fとを備えており、ハロゲンランプ512から射出された白色光L1が光軸OA上に位置決めされたフィルターを通過して当該フィルターに対応する可視域の光（以下「可視光」という）がレンズ514c、全反射ミラー514d、視野絞り514eおよびハーフミラ

ー514fを介して結像光学ユニット52に入射する。

【0029】また、照明光学系514は、全反射ミラー514gと、レンズ514hとをさらに備えており、重水素ランプ513から射出した紫外光L2が全反射ミラー514gで反射された後、レンズ514hおよびハーフミラー514fを介して結像光学ユニット52に入射する。

【0030】なお、重水素ランプ513から射出される高エネルギーの紫外光L2が常時全反射ミラー514gに入射し、全反射ミラー514gの表面が長時間紫外光に曝されると、その表面が曇るという問題が生じる。そこで、この実施形態では、重水素ランプ513と全反射ミラー514gとの間にシャッター機構517を設けて、被測定試料に紫外光L2を照射する場合のみ、シャッター機構517を開いて重水素ランプ513からの紫外光L2を全反射ミラー514gに導光するように構成している。

【0031】図8はシャッター機構を示す斜視図であり、同図(a)はシャッターを開いた状態を示す一方、同図(b)はシャッターを閉じた状態を示している。同図に示すように、このシャッター機構517は、断面が略L字状の基台517aの前端面に支持板517bが取り付けられている。この支持板517bの左下部には、貫通孔517cが設けられており、この貫通孔517cを介して基台517aの前端面に固着された全反射ミラー514gに紫外光L2が入射可能となっている。

【0032】また、支持板517bには、中央上部に設けられた回転軸517d回りにシャッター517eが回転自在に軸支されている。さらに、この回転軸517dにはシャッター駆動用モータ517fが連結されており、モータ517fの作動に応じてシャッター517eが回転軸517dを回転中心として回転し、貫通孔517cを開放したり、塞ぐことができるように構成されている。

【0033】したがって、紫外光L2を被測定試料に照射する際には、同図(a)に示すように、シャッター517eを貫通孔517cから退避させて紫外光L2を全反射ミラー514gで反射させて被測定試料に導光する一方、被測定試料への紫外光L2の照射が必要ない場合には、同図(b)に示すように、シャッター517eを貫通孔517cに位置決めして紫外光L2の全反射ミラー514gへの入射を禁止することができる。その結果、全反射ミラー514gの表面に紫外光L2が長時間照射されるのを防止することができ、全反射ミラー514gの表面の曇りを効果的に防止することができる。

【0034】次に、図5および7に戻り、上記のように構成された照明光学ユニット51から射出された可視光および紫外光が入射される結像光学ユニット52、またウエハによって反射された光を分光する分光ユニット54の構成についての説明を続ける。

【0035】結像光学ユニット52は、複数の対物レンズ521a、521bが同心円状に配置されて回転軸522a回りに回転自在なレンズターレット522と、このレンズターレット522を回転軸522a回りに回転駆動して任意の対物レンズを光軸OA上に位置決めする対物レンズ切換用モータ523と、ビームスプリッタ524と、チューブレンズ525とからなり、照明光学ユニット51からの照明光（可視光あるいは紫外光）がビームスプリッタ524によって反射させ、対物レンズ切換用モータ523によって光軸OA上に位置決めされた対物レンズを介して所定の照明位置ILに照射される。

【0036】この照明位置ILを含む比較的広い範囲にわたって六軸テーブル41（図1）は移動可能に構成されており、この六軸テーブル41の保持プレート411に被測定試料たるウエハWが載置され、この六軸テーブル41によってウエハWの表面の任意の微小領域を照明位置ILに位置させることができるように構成されている。なお、図面への図示を省略するが、この六軸テーブル41には、その位置（X、Y座標など）を検出して、その位置情報を装置全体を制御する制御ユニット6に与えられるようになっている。

【0037】この照明位置ILに位置するウエハWの微小領域で反射された光は、対物レンズ521、ビームスプリッタ524およびチューブレンズ525を介して光軸OA上の所定位置に集光される。この集光位置の近傍には、中心部にピンホール531を有するプレート532が配置されている。また、そのプレート532の近傍にシャッター533が配置されており、制御ユニット6からの信号に基づきシャッター533を開閉駆動して、反射光のうちピンホール531を通過した光が分光ユニット54に入射されるかどうかを制御するようになっている。

【0038】この分光ユニット54は、反射光を分光する凹面回折格子541と、凹面回折格子541により回折された回折光の分光光強度を検出するラインセンサ542とで構成されている。ラインセンサ542は、例えばフォトダイオードアレイやCCDなどにより構成されており、ピンホール531と共役な関係に配置されている。このため、分光ユニット54に取り込まれた光は凹面回折格子541に分光され、その光の分光光強度に対応した信号がラインセンサ542から制御ユニット6に与えられる。

【0039】なお、チューブレンズ525とプレート532との間の光軸OA上には、プリズム551が配置されており、ウエハWからの光の一部を取り出すようになっている。また、取り出された光は、レンズ552を介して所定位置に集光される。この集光位置には、撮像素子553が配置されており、ウエハW表面の一部領域（膜厚測定領域）の像に対応した画像信号が制御ユニット6に与えられる。このように、この実施形態では、撮

像ユニット55によって測定領域の画像を撮像可能となっているが、この撮像ユニット55の配設位置はチューブレンズ525とプレート532との間に限定されるものではなく、対物レンズ521と分光ユニット54との間の光軸OA上であれば任意である。

【0040】制御ユニット6は、図7に示すように、論理演算を実行する周知のCPU611と、そのCPU611を制御する種々のプログラムなどを予め記憶するROM612と、装置動作中に種々のデータを一時的に記憶するRAM613とを備えた制御部61を備えている。また、この制御部61は、I/O部62を介して以下の構成要素、

- ・操作部31、
- ・モニタ32、
- ・データ処理部631：ラインセンサ542からの信号に対して所定の処理を施す、
- ・シャッターコントローラ632：シャッター533を開閉制御する、
- ・画像処理部633：撮像素子553からの画像信号に対して所定の処理を施す、
- ・フィルター切換コントローラ634：フィルター切換用モータ514bを回転制御してフィルターを切換る、
- ・点灯回路635：ハロゲンランプ512を点灯/消灯制御する、
- ・点灯回路636：重水素ランプ513を点灯/消灯制御する、
- ・シャッターコントローラ637：シャッター517eを開閉制御する、
- ・レンズターレットコントローラ638：対物レンズ切換用モータ523を回転制御して対物レンズを切換る、
- ・テーブルコントローラ639：六軸テーブル41を駆動制御する、と電気的に接続されている。

#### 【0041】B. 分光測定方法

次に、上記ように構成された膜厚測定装置における分光測定方法について図9ないし図11を参照しつつ説明する。この膜厚測定装置では、従来と同様に、装置の組立および光軸調整などを行った後で、絶対波長較正が行われる（ステップS1）。この絶対波長較正は、予め公知の輝線スペクトルを有する低圧水銀ランプを照明位置ILに配置して該低圧水銀ランプからの光を結像光学ユニット52を介して分光ユニット54に導光して絶対波長較正を行い、ラインセンサ542の各画素と分光によるスペクトルの波長とを対応付けるものである。これによって、表1に示す対応関係が得られ、制御ユニット6に記憶される。

【0042】

【表1】

11

画素番号	波長
N1	$\lambda 1$
N2	$\lambda 2$
N3	$\lambda 3$
N4	$\lambda 4$
...	...
Nm	$\lambda m$

【0043】なお、同表および後で説明する表における「画素番号」の欄の「N1」は、最も短波長 $\lambda 1$ のスペクトルを受光する画素の番号を示しており、長波長( $\lambda 2 < \lambda 3 < \dots$ )側に行くに従って「N2」、「N3」、…と

【0044】こうして、絶対波長校正が完了すると、低圧水銀ランプを取外し、ハロゲンランプ512を点灯し(ステップS2)、しばらくしてハロゲンランプ512からの発光量が安定化すると、テーブルコントローラ639からの指令にしたがって六軸テーブル41を移動させてチップホルダ413を照明位置ILに位置決めする(ステップS3)。これによって、照明光学ユニット51から照射される照明光が保護ガラス73を介してホルミウムガラス72を通過してリファレンスチップ71で反射された後、再度ホルミウムガラス72および保護ガラス73を通過して結像光学ユニット52に導光される。さらに、反射光は結像光学ユニット52を介して分光ユニット54に入射して分光される。

【0045】そこで、次のステップS4では、ラインセンサ542から出力される電気信号に基づき各画素で受光されるスペクトルの輝度を求めて分光特性を求める。こうして測定された分光特性は、例えば図10に示すように、ホルミウムガラス72の吸収特性の影響を直接的に受けて複数の特定波長でスペクトルの輝度レベルが大きく低下している。

【0046】次のステップS5では、可視域全体を3つの波長帯Ra、Rb、Rcに分け、各波長帯Ra、Rb、Rcにおいて最も顕著に輝度レベルの変化が生じている部分(同図の斜線部分)の重心波長 $\lambda a$ 、 $\lambda b$ 、 $\lambda c$ を求めている(ステップS5)。ここで、具体的には、各波長帯Ra、Rb、Rcに応じたしきい値として最大輝度の40%、80%および82%にそれぞれ設定して輝度レベルが大きく変化している部分を求める。そして、各部分に対応する重心画素の番号Na、Nb、Ncをそれぞれ求めた後、表1に示す対応関係に基づき各画素番号Na、Nb、Ncに対応する波長 $\lambda a$ 、 $\lambda b$ 、 $\lambda c$ を求め、これらを重心波長 $\lambda a$ 、 $\lambda b$ 、 $\lambda c$ とする。

【0047】こうして求めた重心波長 $\lambda a$ 、 $\lambda b$ 、 $\lambda c$ は上記したようにホルミウムガラス72の吸収特性を直接的に反映したものであり、この実施形態では、これらを特定波長 $\lambda a$ 、 $\lambda b$ 、 $\lambda c$ として制御ユニット6に記憶する(ステップS6)。これらの一連の処理(ステップS

12

1～S6)によって、被測定試料であるウエハの分光特性を測定するための準備処理が完了する。

【0048】なお、上記実施形態では、重心波長を求め、それらを特定波長としているが、重心波長を求める(ステップS5)代わりに、各波長帯Ra、Rb、Rcにおいて最も輝度レベルが低下している波長を特定波長とするようにしてもよい。また、この実施形態では、膜厚測定装置を用いて特定波長 $\lambda a$ 、 $\lambda b$ 、 $\lambda c$ を実際のウエハの分光特性の測定に先立って測定しているが、予め別の分光測定装置によってホルミウムガラス72の吸収特性に基づく特定波長を測定し、制御ユニット6に記憶させるようにしてもよい。

【0049】上記のようにして、分光測定の準備処理が完了すると、図11に示すフローチャートにしたがって、被測定試料たるウエハの分光特性、さらに該分光特性に基づく膜厚測定を行う。

【0050】まず、ステップS11で、被測定試料たるウエハをセットする。すなわち、この膜厚測定装置では、インデクサロボット21によりウエハをセット11又は12からウエハを取り出し、中心調整装置22によりセンタリングを行った後、供給側ステージ481に載置する。そして、該供給側ステージ481から六軸テーブル41の保持プレート411にウエハを受渡し、プリアライメント用センサ47による検出(プリアライメント)が行われた後、チップホルダ413を測定ヘッド5直下の所定の測定位置(照明位置IL)に配置する。

【0051】そして、準備処理におけるステップS2～S4と同様にして、チップホルダ413に保持されているホルミウムガラス72の分光特性を測定する。すなわち、ハロゲンランプ512を点灯し(ステップS12)、しばらくしてハロゲンランプ512からの発光量が安定化すると、テーブルコントローラ639からの指令にしたがって六軸テーブル41を移動させてチップホルダ413を照明位置ILに位置決めして(ステップS13)、可視域の照明光を上記構造体に照射する。そして、該構造体からの反射光を結像光学ユニット52を介して分光ユニット54に入射して分光させ、さらにラインセンサ542から出力される電気信号に基づき各画素で受光されるスペクトルの輝度を求めて分光特性を求める(ステップS14)。

【0052】そして、各波長帯Ra、Rb、Rcにおいて最も顕著に輝度レベルの変化が生じている部分の重心画素の番号Na、Nb、Ncをそれぞれ求めた(ステップS15)後、制御ユニット6から準備処理で求めた特定波長 $\lambda a$ 、 $\lambda b$ 、 $\lambda c$ を読み出し、次式に基づき互いに隣り合った特定波長間、つまり特定波長 $\lambda a$ 、 $\lambda b$ の間、および特定波長 $\lambda b$ 、 $\lambda c$ の間での補間係数 $\alpha 1$ 、 $\alpha 2$ を求める(ステップS16)。すなわち、特定波長 $\lambda a$ 、 $\lambda b$ の間について、

$$\alpha 1 = (Nb - Na) / (\lambda b - \lambda a)$$



に基づき、また特定波長 $\lambda b$ 、 $\lambda c$ の間について、

$$\alpha 2 = (Nc - Nb) / (\lambda c - \lambda b)$$

に基づき、補間係数 $\alpha 1$ 、 $\alpha 2$ を求め、制御ユニット6に記憶する。

【0053】このように補間係数 $\alpha 1$ 、 $\alpha 2$ を求めておくことで、仮に経時変化や温度変化などの影響によって結像光学ユニット52や分光ユニット54などの光学特性が変化し、その結果、ラインセンサ542の各画素と分光によるスペクトルの波長との対応付けが変化したとしても、次の波長較正式によって各画素と波長との対応関係を較正することができる。すなわち、画素番号 $Nk$ を有する画素によって受光されるスペクトルの波長 $\lambda k'$ は、

$Nk \leq Nb$ のとき、

$$\lambda k' = \lambda a + (Nk - Na) / \alpha 1$$

$Nb < Nk$ のとき、

$$\lambda k' = \lambda b + (Nk - Nb) / \alpha 2$$

によって求まる。

【0054】上記のようにして補間係数 $\alpha 1$ 、 $\alpha 2$ が求まると、テーブルコントローラ639からの指令にしたがって六軸テーブル41を移動させて被測定試料たるウエハを照明位置11に位置決めする（ステップS17）。これによって、照明光学ユニット51から照射される照明光がウエハで反射され、この反射光が結像光学ユニット52を介して分光ユニット54に入射して分光される。そして、分光ユニット54のラインセンサ542から出力される電気信号に基づき各画素で受光されるスペクトルの輝度を求めて分光特性を求める（ステップS18）。なお、こうして求められた分光特性を示すデータは、表2に示すように、画素番号とスペクトル輝度との組み合わせデータである。

【0055】

【表2】

画素番号	輝度
N1	I1
N2	I2
N3	I3
N4	I4
...	...
...	...
Nm	Im

【0056】次に、ステップS16で求められた補間係数を用い、上記波長較正式にしたがって各画素番号に対応する波長を演算し、波長較正を行う（ステップS19）。すなわち、画素番号N1の画素に対応する波長 $\lambda 1$ については、

$$\lambda 1' = \lambda a + (N1 - Na) / \alpha 1$$

によって求められた波長 $\lambda 1'$ に較正され、後の画素番号についても同様にして較正され、表3に示す分光特性が得られる。

【0057】

【表3】

画素番号	波長	輝度
N1	$\lambda 1'$	I1
N2	$\lambda 2'$	I2
N3	$\lambda 3'$	I3
N4	$\lambda 4'$	I4
...	...	...
...	...	...
Nm	$\lambda m'$	Im

【0058】このように、この実施形態では、ホルミウムガラス72の吸収特性を利用して被測定試料の測定ごとに波長較正を行っているため、経時変化や温度変化などの影響によって結像光学ユニット52や分光ユニット54などの光学特性が変化し、その結果、ラインセンサ542の各画素と分光によるスペクトルの波長との対応関係が変化したとしても、測定ごとにその対応関係が較正され、再現性のよい分光特性の測定を行うことができる。しかも、該ホルミウムガラス72を六軸テーブル41の移動に応じて移動自在に構成しているため、波長較正を行う際には、単にホルミウムガラス72を照明位置11に位置決めするのみで済むので、波長較正の度に低圧水銀ランプを照明位置11に配置する必要があった従来例に比べて、波長較正を簡単に、効率よく行うことができる。

【0059】また、この膜厚測定装置では、上記のようにして分光特性の測定が完了する（ステップS19）と、その波長較正された分光特性に基づきウエハの表面に形成された薄膜の膜厚測定を行う（ステップS20）。このように分光特性を再現性よく測定することから、その分光特性に基づく膜厚測定を行っているため、必然的に膜厚測定も再現性よく行うことができる。なお、ステップS21で膜厚測定を継続すると判断される間、上記一連の処理（ステップS11～S20）を繰り返して行う。

【0060】C. 変形例

なお、上記実施形態では、この発明にかかる分光測定方法を膜厚測定装置に適用した場合について説明したが、この分光測定方法の適用対象は、膜厚測定装置に限定されるものではなく、単に分光特性を求める、あるいは分光特性の測定を行い、得られた分光特性から特有の物性値などを求める技術にも適用することができる。

【0061】また、上記実施形態では、補間係数 $\alpha 1$ 、 $\alpha 2$ を求め、直線補間によって波長較正を行っているが、補間方法はこれに限定されるものではなく、任意の補間方法を用いることができる。

【0062】また、上記実施形態では、ホルミウムガラス72の吸収特性を利用して特定波長を設定しているが、ホルミウムガラス72の代わりに、透過率が特定波長で極大的に変化する物質（例えばジウムフィルタ）や多層膜などを用いてもよい。また、ホルミウムガラス7

2の代わりに、特定波長で反射率が変化する反射膜を用いてもよく、この場合、リファレンスチップ71が不要となる。

【0063】さらに、上記実施形態では、3つの特定波長を設定して波長校正を行っているが、特定波長の設定数は「3」に限定されるものではなく任意であるが、照明光の波長域に存在し、しかも互いに異なる少なくとも2つ以上の特定波長を設定することで、上記実施形態で説明したような補間法を利用することができ、より精度の高い波長校正を行うことができる。

【0064】

【発明の効果】以上のように、この発明によれば、照明光の波長域に存在し、しかも互いに異なる少なくとも2つ以上の特定波長において、透過率あるいは反射率が極大に変化する参照光学部材を準備し、被測定試料の分光特性を測定するのに先立って、参照光学部材を照明位置に位置決めして参照光学部材の分光特性を測定し、複数の画素のうち特定波長のスペクトルを受光する画素を特定し、さらに該特定画素に基づき、各画素で受光されるスペクトルの波長を演算した後、被測定試料を照明位置に位置決めし、当該被測定試料から射出される光を分光し、分光特性を実測するとともに、当該分光特性を上記演算結果に基づき波長校正するようにしているので、再現性の良い分光特性の測定を、効率良く行うことができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明にかかる分光測定方法を適用可能な膜厚測定装置を示す斜視図である。

【図2】チップホルダの斜視図である。

【図3】図2のB-B線矢視図である。

【図4】ホルミウムガラスの透過率特性を示すグラフで

ある。

【図5】測定ヘッド5を示す図である。

【図6】図5のA-A線矢視図である。

【図7】図5の測定ヘッドの光学および電気的構成を示す模式図である。

【図8】シャッター機構を示す斜視図である。

【図9】膜厚測定装置による分光測定における準備処理を示すフローチャートである。

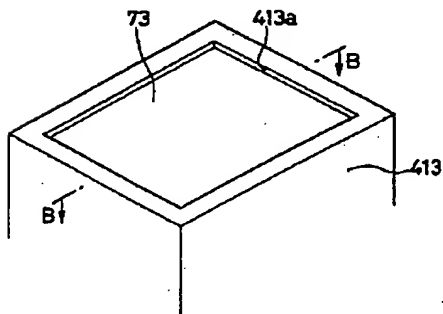
【図10】図1の膜厚測定装置によって実測されるホルミウムガラスの分光特性を示すグラフである。

【図11】膜厚測定装置による分光測定方法および膜厚測定方法を示すフローチャートである。

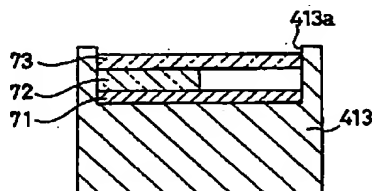
【符号の説明】

- 6…制御ユニット
- 41…六軸テーブル
- 51…照明光学ユニット
- 52…結像光学ユニット
- 54…分光ユニット
- 72…ホルミウムガラス
- 512…ハロゲンランプ
- 513…重水素ランプ
- 542…ラインセンサ
- 611…CPU
- 612…ROM
- 613…RAM
- 639…テーブルコントローラ
- 1L…照明位置
- W…ウェハ（被測定試料）
- $\alpha 1$ 、 $\alpha 2$ …補間係数
- $\lambda a \sim \lambda c$ …特定波長

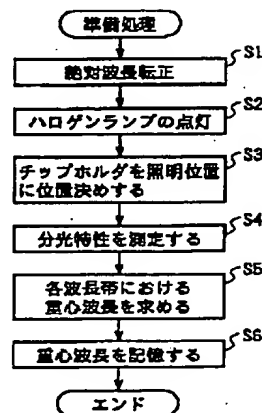
【図2】



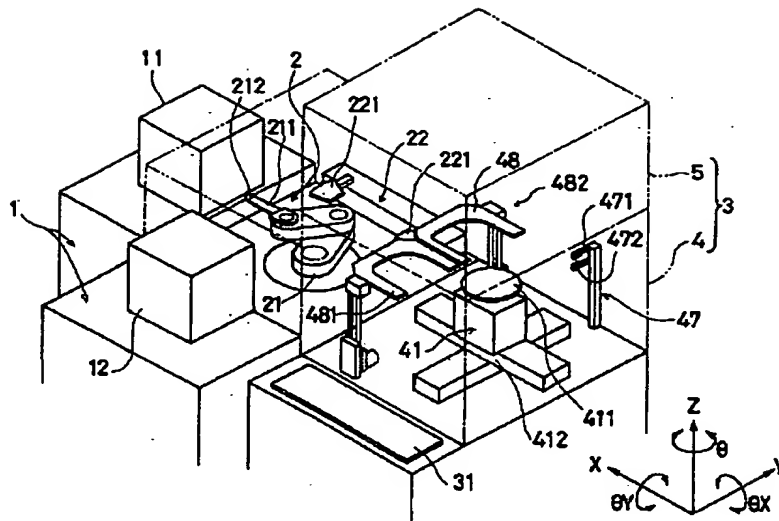
【図3】



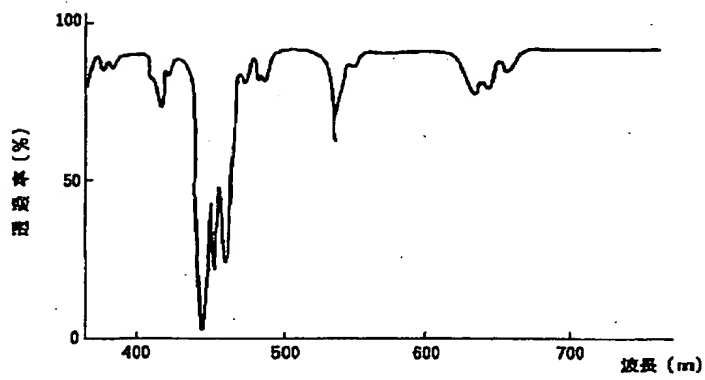
【図9】



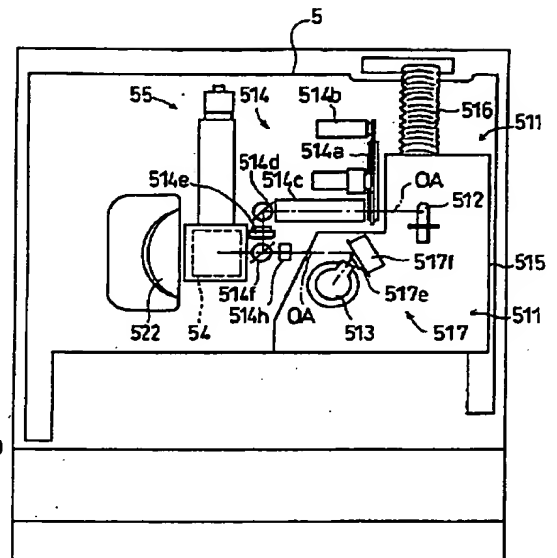
【図1】



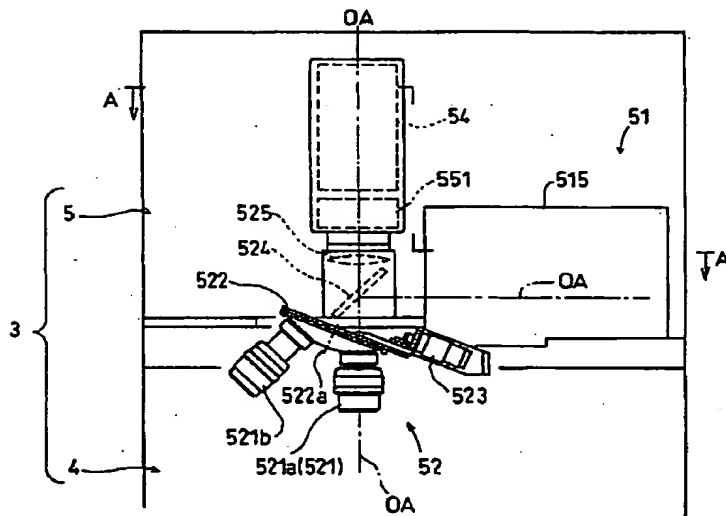
【図4】



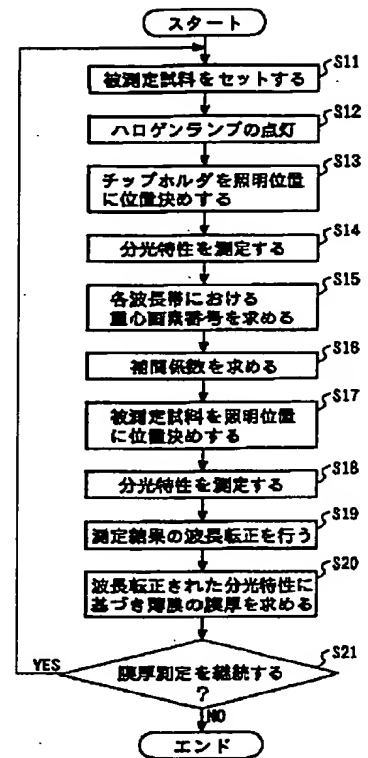
【図6】



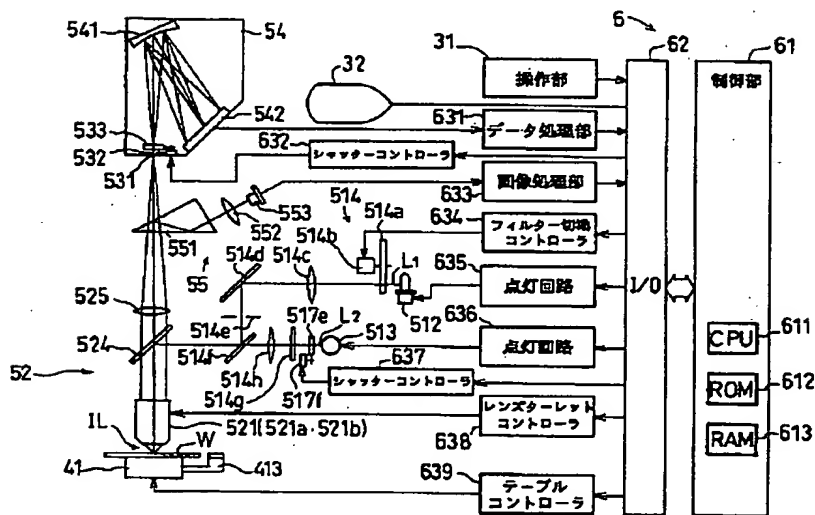
【図5】



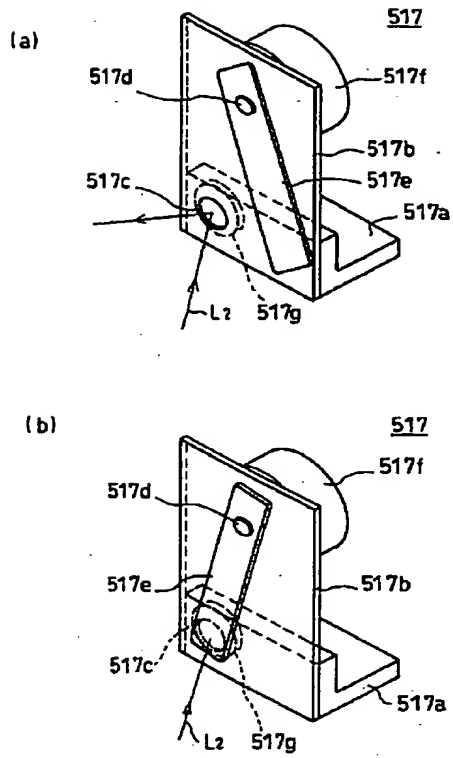
【図11】



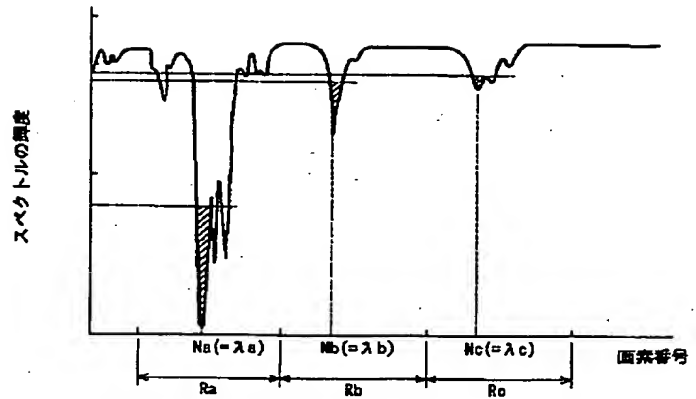
【図7】



【図8】



【図10】



CA

Mailed November 25, 2003

NOTICE OF GROUND OF REJECTION

Patent Application No. H11-195925

Patent Office Examiner: Masato YAMASHITA

To Attorney, Mr. Hisao Fukami :

The present application shall be recognized to be rejected on the ground as follows. It is required that the remarks, if any, be submitted within sixty days from the date on which the present NOTICE was mailed.

GROUND

It is recognized that, because the invention described in Claim(s) of SCOPE OF CLAIMS FOR PATENT of the present application could have been invented readily by a person having ordinary knowledge in the field of the art to which the present invention pertains prior to the filing of the present application based on the invention as described in the following publication(s) distributed in Japan and/or foreign countries prior to the filing of the present application, a patent cannot be granted thereto under the provision of Paragraph 2 of Article 29 of the Patent Law.

REMARKS

(As to the cited References,  
see appended List of Cited References)

Reference 1 discloses the feature of providing a halogen lamp and a deuterium lamp in an apparatus obtaining film thickness and the like by spectrophotometry of a thin film.

Also, the feature of employing an optical fiber for the film thickness measurement apparatus (in particular, refer to Fig. 3) is disclosed in Reference 2, and specific calculation of determining the film thickness by spectroscopy is suggested in Reference 3.

List of Cited References

1. Japanese Patent Laying-Open No. 11-160030
2. Japanese Patent Laying-Open No. 61-165608
3. Japanese Patent Laying-Open No. 63-044106

.....  
RECORD OF SEARCH FOR PRIOR ART DOCUMENTS

• SEARCHED TECHNICAL FIELD

IPC SEVENTH EDITION G01B 11/00-11-30

This record of search for prior art documents does not find any ground of rejection.